

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :  $\mu 10$  10-267658

(43)Date of publication of application : 09.10.1998

(51)Int.Cl. G01C 19/56

G01P 9/04

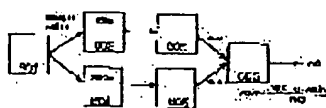
(21)Application number : 09-069617

(71)Applicant : NISSAN MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 24.03.1997

(72)Inventor : KANEKO HIROYUKI

## (54) VIBRATION-TYPE ANGULAR VELOCITY SENSOR



Aout = K1.2 ma $\omega\Omega$  + OF

Bout = K1.2 Cm $\omega\Omega$  + OF

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an accurate angular velocity signal by subtracting an offset error component that does not depend on coriolis force from the output signal value of two vibrators with a vibration mass part being arranged closely on a substrate by employing a specific expression.

**SOLUTION:** A vibrator A8.2 with a mass of (m), and a vibrator B804 with a mass of Cm (c is a proportional constant) are driven by a drive circuit 801 at a frequency (f) and an amplitude (a). When the angular velocity at this time is set to  $\Omega$ , the detection signal A (the output of A: Aout) and the detection signal B (the output of B: Bout) of each vibrator are expressed by expressions I and II, respectively, in which K1 is a proportional constant in the case of converting the coriolis force to an output electrical signal, and OF is an offset error ( $\omega=2\pi f$ ). Therefore, by performing an operation of  $(Bout - C \cdot Aout) / (1 - C)$  by an

operation circuit 806, an expression III is obtained, thus the inclination of a vibration surface being generated regardless of the coriolis fore, namely an offset can be calculated. Then, for example, by subtracting OF obtained by the expression III from Aout in the expression I, output K1.2 ma $\omega\Omega$  that is proportional to a true angular velocity  $\Omega$  can be obtained.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-267658

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

G 0 1 P 9/04

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平9-69617

(22) 出願日

平成9年(1997)3月24日

(71) 出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72) 発明者 金子 洋之

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

(74) 代理人 弁理士 中村 純之助 (外1名)

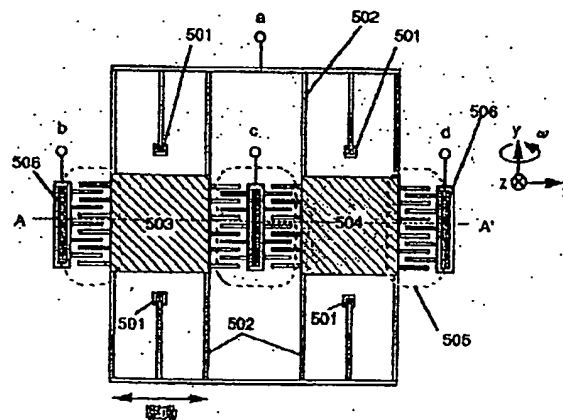
(54) 【発明の名称】 振動型角速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 小さい角速度を検出し、オフセット誤差が極めて小さい高精度の角速度センサ。

【解決手段】 形状が等しく質量の異なる振動質量部503、504を有する2個の振動子は梁501で支持され、この振動子をx軸方向に駆動する駆動電極105、y軸回りの角速度 $\omega$ によるz軸方向のコリオリ力を検出するための機械的構造が等しい検出電極201、202が基板203上に近接して配置された角速度センサの出力からオフセット誤差成分を算出し、このオフセット誤差成分を差し引いた角速度信号を求める。

(図1)



501、506…固定部

502…梁

503、504…振動質量部

505…駆動電極

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】角速度印加により所定の振動質量部に発生するコリオリ力から前記振動質量部の変位、または、前記振動質量部を支持する支持体の変位を検出して前記角速度を計測する振動型角速度センサにおいて、同一基板上に近接して設けられ異なる質量を有する2つの振動質量部と、

前記振動質量部とこの振動質量部を固定する固定部とを連結する梁と、

前記振動質量部を振動させる駆動電極と、

前記コリオリ力を検出する検出電極とを有する2つの角速度検出手段を備え、

前記梁、前記駆動電極、前記検出電極が何れも同等の機械的諸元または特性を保有し、

前記2つの角速度検出手段は、同一振幅で、かつ、前記振動質量部のコリオリ力検出方向の共振周波数以外の互いに等しい周波数により、それぞれの振動質量部を駆動して角速度出力を検出し、

この角速度出力からコリオリ力に依存しないオフセット誤差成分を算出し、このオフセット誤差成分を差し引いた角速度信号を得る演算手段を有することを特徴とする振動型角速度センサ。

【請求項2】角速度印加により所定の振動質量部に発生するコリオリ力から前記振動質量部の変位、または、前記振動質量部を支持する支持体の変位を検出して前記角速度を計測する振動型角速度センサにおいて、同一基板上に近接して設けられ等しい質量を有する2つの振動質量部と、

前記振動質量部とこの振動質量部を固定する固定部とを連結する梁と、

前記振動質量部を振動させる駆動電極と、

前記コリオリ力を検出する検出電極とを有する2つの角速度検出手段を備え、

前記梁、前記駆動電極、前記検出電極が何れも同等の機械的諸元または特性を保有し、

前記2つの角速度検出手段は、同一振幅で、かつ、前記振動質量部のコリオリ力検出方向の共振周波数以外の互いに異なる周波数により、それぞれの振動質量部を駆動して角速度出力を検出し、

この角速度出力からコリオリ力に依存しないオフセット誤差成分を算出し、このオフセット誤差成分を差し引いた角速度信号を得る演算手段を有することを特徴とする振動型角速度センサ。

【請求項3】請求項1、請求項2記載の基板は、半導体結晶で構成されていることを特徴とする振動型角速度センサ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は角速度センサに係り、特に、製造条件のばらつき、温度変化、種々の外乱

2

要因によるセンサの出力誤差を低減するに好適な振動型角速度センサの構造と信号処理に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、図7(a)は従来の振動型角速度センサを示す平面図、図7(b)は図7(a)のA-A断面図を示し、“A Micromachined Comb-Drive Tuning Fork Rate Gyroscope”, IEEE Micro Electro Mechanical Systems 1993 Proceedingspp. 143-148に述べられているもので、半導体基板表面の微細加工により振動型角速度計を製作したものである。

【0003】図7(a)、図7(b)において振動質量部103、104は、固定部101で基板203に固定された梁102によって、基板203から所定の間隔を隔てたいわゆる浮いた形で保持されている。また別の固定部106と振動質量部103、104の間には、それぞれ、微小間隔に配列した櫛歯状の駆動電極105が設けられ、駆動電極105に電圧を印加することにより、発生する静電力によって振動質量部103、104をx軸方向、すなわち、基板203と平行に振動させる。ここで、y軸回りの角速度 $\omega_1$ が印加されると、振動質量部103、104にはコリオリ力 $F_c$ がz軸方向に発生し、その結果、基板203は、x軸方向に垂直なz軸方向にも振動することになる。このz軸方向の変位は、基板203と振動質量部103、104の間に発生する静電容量を測定することにより、角速度 $\omega_1$ を検出することができる。

【0004】ちなみに、この従来例においては、振動質量部103、104をx-y平面上で互いに逆方向に駆動し、これにy軸回りの角速度 $\omega_1$ を印加すると、振動質量部103、104にはz軸方向に、それぞれ逆向きのコリオリ力 $F_c$ が発生し、下部電極201、202と振動質量部103、104の間隔に変化が生ずる。これより振動質量部103、104の差動信号を受信し角速度信号を出力する。このような差動構成にすることで同じ相に発生する外来雑音、例えばz軸方向の加速度の影響を排除するとともに、角速度 $\omega_1$ の検出感度をも高めている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このような従来の振動型角速度センサにおいては下記の問題点があった。振動型角速度センサは、コリオリ力の測定値に基づいて計測され、質量mの振動質量部を速度vで振動させて生ずるコリオリ力 $F_c$ は、 $F_c = 2 \times m \times v \times \omega$ で表示され、コリオリ力による振動質量部の変位、および、変位に伴って発生する梁の歪みは、静電容量の変化や歪みゲージの抵抗値変化、圧電効果による電圧変化として測定される。

【0006】一般に角速度センサの小型化を図るためには、必然的に振動質量部とこれを支持する梁を小さくする必要があり、特に、小さな角速度を検出するには、微

10

20

30

40

50

3

小のコリオリ力が検出できなくてはならない。したがって、微小のコリオリ力による振動質量部の変位または歪を検出する角速度センサには、高感度で、かつ高精度の変位検出性能が要求される。

【0007】図8は、振動型角速度センサの動作原理を示す図である。例えば、図8に示す振動質量部は、 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ の単結晶シリコンであって約 $1\mu\text{g}$ の質量を有する。 $600\mu\text{m}$ 長、 $10\mu\text{m}$ 幅、 $10\mu\text{m}$ 厚の単結晶シリコンにより形成した両持ち梁2本で支えた構造で、この振動質量部を振幅 $10\mu\text{m}$  10  
p-p、周波数 $f=20\text{kHz}$ で、基板と並行のx軸方向に振動させ、x軸と直交するz軸方向に角速度 $\omega=1^\circ/\text{sec}$ を与えたとしても、例えば、Q値が1000の場合で、約 $3\text{nm}$ 程度の変位量しか現われない。これは角速度 $\omega$ が0の時の基板と振動質量部の間隔、すなわち、イニシャルギャップが $1\mu\text{m}$ の場合、僅か0.3%の変位量にすぎない。

【0008】従ってこのように高感度かつ高精度が要求されるセンサにおいては、構造上の僅かなずれによって、角速度 $\omega$ が0の状態でも出力を発生するおそれがある。つまり、角速度センサの構造設計をする場合、通常、角速度 $\omega$ が0の状態で出力が0、もしくは、ある一定の値を生ずるように構造を決めるのであるが、構造体の製造上のバラツキ、駆動力の不均一、温度変化による熱応力の発生等により、必ずしも設計通りの振動を起こすわけではなく、製品毎に異なったオフセット誤差のばらつきが生ずる可能性が大きい。特に上記のように高感度、高精度の角速度センサを設計する場合には、このバラツキへの対応策は、深刻な問題となってくる。

【0009】図9は、オフセットの生じた従来技術の振動質量部の動きを示す図である。図7に示した質量部103、104を支える支持部102の僅かなゆがみや、静電駆動力の不均一性、基板203からの熱応力により生じた歪み等の影響で、僅かでも振動面に傾き $p$ が生ずる結果として、基板203とのギャップが変化し、角速度が0の状態でも出力信号が生じ、オフセットが発生するに至る。このようなオフセットは個々の製品ごとにばらつきがあり、高精度の角速度センサを実現するためには、それぞれの製品毎に、既知の角速度を印加した状態、あるいは、角速度 $\omega=0$ の場合で、オフセット調整 40  
を実施しなければならず、これに伴うコストが増大する。

【0010】また、仮に製品製造時にこのようなオフセット調整がなされたとしても、製品使用中の経時変化や、温度変化により、機械的構造、例えば、振動質量部を支持する梁のばね定数のような機械定数が変化し、従って、オフセットが変動してしまうことも考えられる。特に、車両のナビゲーションシステムにおいて、自車の位置を推定するために角速度センサの信号を用いる場合には、高精度に低オフセットの角速度信号を得ることが 50

4

必要であるが、従来技術の振動型角速度センサでは低オフセット、低オフセットドリフトの信号を得ることが困難であった。この発明は、このような従来技術の問題点に着目してなされたもので、オフセットの極めて小さい高精度の角速度センサを提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するには、基板上に近接して配置された振動質量部を有する2つの振動子の出力信号値から、コリオリ力に依存しないオフセット誤差成分を算出し、このオフセット誤差成分を差し引いた角速度信号を求めるようにすればよい。すなわち、振動質量部とこの振動質量部を固定する固定部を連結する梁、この振動質量部を振動させる駆動電極、コリオリ力を検出する検出電極、が等しい機械的諸元または特性を有し、質量が異なる2つの振動質量部を、同一振幅、同一周波数で駆動して得られる信号出力を演算する。例えば図4に示すように、駆動回路801により、周波数 $f$ 、振幅 $a$ で振動させた質量 $m$ なる振動子A802、振動子B804が角速度の入力により発生するコリオリ力を受け変化した振動面の位置変化をそれぞれ検出回路A803、検出回路B805により検出し、検出した2つの信号は演算回路806によって演算することにより角速度センサ出力が求められる。この出力からコリオリ力に依存しないオフセット誤差成分を算出し、このオフセット誤差成分を差し引いた角速度信号を求めることによって達成される。

【0012】あるいは、前記の梁、前記の駆動電極、前記の検出電極、が等しい機械的諸元または特性を有し、等しい質量を有する2つの振動質量部を、同一振幅、異なる周波数で駆動して得られる信号出力を演算し、この出力からオフセット誤差成分を差し引いて角速度信号を求めてもよい。請求項1、請求項2記載の角速度検出手段とは、例えば、図4または図6の検出回路A、検出回路Bを含み、また、演算手段とは、図4または図6の演算回路に相当するものである。

【0013】

【発明の効果】2つの角速度検出手段から信号出力を演算することにより、外乱、温度変化、経時変化等によって生じるコリオリ力とは無関係なオフセット誤差成分を、角速度信号から分離することができ、これによって高精度の角速度信号を求めることができる。また、上記共通の効果のほか、後述するように、実施の形態1、実施の形態2に特有の効果を奏するものである。すなわち、実施の形態1では、同一の駆動周波数、振幅を用いて振動質量部で駆動するものであるから、駆動回路の共通化が可能であり、実施の形態2では、2つの角速度検出手段は全く同一の構造を適用するものであるから、実施の形態1との比較では構造の簡略化が可能である。

【0014】

5

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

〈実施の形態1〉図1はこの発明の実施の形態1を示す平面図である。図示するように、外形は概ね図7に示した従来技術の角速度センサに準ずる構造を有するが、2つの質量部503、504の質量には相違がある。すなわち、センサの機械的寸法や特性等は全く同一に作られている。特に、半導体製造技術を用いて、微小寸法を有する2つの構造体を同一基板上に隣接して形成する場合  
10 には、機械的諸元、特性等が同等になるようにすることが可能である。

【0015】図2(a)、(b)は、外形寸法が等しく異なる質量を有する振動質量部601、602を例示する平面図である。振動質量部601、602は全く等しい厚みと外形寸法を有するが、603、604は孔を示し、振動質量部601の孔603は振動質量部602の孔604より数が多く、このため、振動質量部601の質量は振動質量部602の質量よりも小である。この実施の形態は、いわゆる犠牲層を用いた表面マイクロマシ  
20 ーニング製造技術によって、微小構造体を形成したものを想定しており、孔603、孔604は犠牲層をエッチング除去してフリースタANDING構造とするためのエッチング孔としても利用できる。

【0016】また、図3(a)、(b)は外形寸法が等しく異なる質量を有する別の振動質量部701、702を例示する平面図である。外形寸法を変えずに質量のみ変化させる他の構造例を示すもので、図2、図3のほか、さまざまな構造のものが考えられる。例えば、図3では振動質量部上に新たな重錘704を付加するか、あるいは、付加しないで外形寸法を変えず質量のみを変えたものとして例示している。何れにしても、振動質量部  
30

$$v_A = a \omega$$

ただし、 $a$ は駆動振幅、 $\omega = 2\pi f$ は駆動周波数で与えられ、ここに角速度 $\Omega$ が入力されると、速度と角速度ベクトルの外積方向に(式2)に示すコリオリ力 $F_c$ が発生する。

【0020】

$$F_{cA} = 2ma\omega\Omega \quad \dots (式2)$$

このコリオリ力によって振動面が傾き、その変化を静電容量、歪み等で電気信号に変換する。その際、前に述べたように温度変化・外乱等により、コリオリ力とは無関係に振動面が僅かに変化してしまうことが予想される。これがセンサの誤差オフセット信号となり、真の角速度との区別ができなくなる。

【0021】この状態の検出信号A(Aの出力:  $A_{out}$ )は

$$A_{out} = k_1 \cdot 2ma\omega\Omega + OF \quad \dots (式3)$$

と表すことができる。

【0022】ここで、 $k_1$ はコリオリ力を出力電気信号に変換する際の比例定数、OFはオフセット誤差であ  
50

6

を支持する梁に対するばね定数のような機械的性質に対して影響を及ぼさないように、質量のみを変えることが可能である。

【0017】ここで図2、図3では質量部の外形寸法は、等しいか、少なくとも可及的に同一であるとしているが、これは2つの角速度センサの機械的諸元が接近している方が、後述の信号処理手段によって行なうオフセット誤差の算出精度が高くなるためであるが、状況によって多少の機械的寸法の相違は許容される。このように外形寸法が概ね同一で、振動質量部の質量のみが異なる2つの角速度検出手段を備え、2つの角速度センサの駆動・検出を以下に行なうことにより、本発明の主目的であるオフセット誤差の小さい角速度の検出を実行することができる。

【0018】図4は、本発明の実施の形態1のブロック図であって、駆動・検出・信号処理を例示するものである。質量の異なる2つの振動子、すなわち、質量 $m$ の振動子A802、質量 $Cm$ の振動子B804( $C$ は比例定数)を周波数 $f$ 、振幅 $a$ で駆動回路801により駆動する。この例では、駆動周波数、すなわち、検出周波数は、振動子A802、振動子B804の検出方向(コリオリ力の発生する方向)の共振周波数と異なった周波数を用いる。駆動された振動子A802、振動子B804は、角速度の入力により発生するコリオリ力を受け振動面が位置を変化する。この変化をそれぞれ検出回路A803、検出回路B805で検出し、検出した2つの信号は演算回路806によって演算され、最終的に角速度センサ出力が求められる。

【0019】ここで振動子A802の駆動方向の最大速度 $v_A$ は、

$$\dots (式1)$$

る。

【0023】一方質量 $Cm$ を有する振動子B804も周波数 $f$ 、振幅 $a$ で駆動されるので、角速度 $\Omega$ が入力されると、振動子A802と同様に、

$$F_{cB} = 2Cma\omega\Omega$$

のコリオリ力が発生する。この際やはり温度変化・外乱等によりコリオリ力とは無関係に振動面が僅かに変化してしまうことが予想されるが、振動子B804は振動子A802と同一基板上に近接して配置されており、機械的諸元もほぼ等しいので、温度変化・外乱等による振動面の変化は振動子A802のそれとほぼ等しいオフセット誤差が生ずると考えられ、検出信号B(Bの出力:  $B_{out}$ )は

$$B_{out} = k_1 \cdot 2Cma\omega\Omega + OF$$

と表される。

【0024】従って演算回路806により( $B_{out} - C \cdot A_{out}$ ) / ( $1 - C$ )の演算を行なえば、

7

$$[(k_1 \cdot 2 C m a \omega \Omega + OF) - C (k_1 \cdot 2 m a \omega \Omega + OF)] / (1 - C) = OF$$

… (式4)

となり、温度変化・外乱等によりコリオリ力とは無関係に生じた振動面の傾き、すなわちオフセットを算出することができる。そして例えば (式3) のAoutから (式4) で求められたOFを減算すれば、真の角速度Ωに比例した出力、すなわち、 $k_1 \cdot 2 m a \omega \Omega$ が求められる。実際の演算では、アナログ電子回路を用いる方法、デジタル信号処理する方法等さまざまな方法が考えられるが、結果として (式4) が得られればよい。

【0025】 (実施の形態2) 図5は、この発明の実施の形態2を示す平面図、図6は、実施の形態2の信号処理のブロック図であって、駆動・検出・信号処理を例示するものである。実施の形態1では質量のみが異なる2つの振動子を用いたが、本実施の形態では、機械的構造、振動子の質量がほぼ等しい2つの振動子A1002、振動子B1005を、それぞれ同一の振幅、及び、異なった周波数f、Cfで駆動し、2つの出力を演算することにより、オフセット誤差の小さな角速度が得られ

$$[(k_1 \cdot 2 C m a \omega \Omega + OF - C \cdot (k_1 \cdot 2 m a \omega \Omega + OF)] / (1 - C)$$

=OF

となり、温度変化・外乱等によりコリオリ力とは無関係に生じた振動面の傾き、すなわち、オフセットを算出することができる。そして例えば (式5) のAoutから (式7) で求められたオフセット誤差OFを減算すれば、真の角速度Ωに比例した出力、すなわち、 $k_1 \cdot 2 m a \omega \Omega$ が求められる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の振動型角速度センサの実施の形態1を示す平面図である。

【図2】本発明に係る外形寸法が等しく異なる質量を有する振動質量部を例示する平面図である。

【図3】本発明に係る外形寸法が等しく異なる質量を有する別の振動質量部を例示する平面図である。

【図4】本発明の振動型角速度センサの実施の形態1のブロック図である。

【図5】本発明の振動型角速度センサの実施の形態2を示す平面図である。

【図6】本発明の振動型角速度センサの実施の形態2のブロック図である。

8

る角速度センサを実現するものである。図5は振動子の構造を示し、機械的構造は図7の従来例に準ずるため、説明は省略する。

【0026】実施の形態1と同様に振動子A1002、振動子B1005は共に検出方向では非共振の状態になるように振動子B1005の駆動周波数を、振動子A1002のC倍に設定する。振動子A1002の検出信号

10 A (Aの出力: Aout) は

$$Aout = k_1 \cdot 2 m a \cdot 2 \pi f \cdot \Omega + OF \quad \dots (式5)$$

で表され、振動子B1005の検出信号B (Bの出力: Bout) は駆動周波数がC倍なので、

$$Bout = k_1 \cdot 2 m a \cdot 2 \pi C f \cdot \Omega + OF \quad \dots (式6)$$

で表される。

【0027】ここで演算回路1007により実施の形態1と同様に  $(Bout - C \cdot Aout) / (1 - C)$  の演算を行えば、

… (式7)

【図7】従来の振動型角速度センサを示す平面図

(a)、及び図(a)のA-A断面図(b)である。

【図8】振動型角速度センサの動作原理を示す図である。

【図9】オフセットが生じている従来技術の質量部の動きを示す図である。

【符号の説明】

101、106、501、506、901、906…固

30 定部

102、502、902…梁

103、104、503、504、903、904…振

動質量部

105、505、905…駆動電極

201、202…下部電極

203…基板

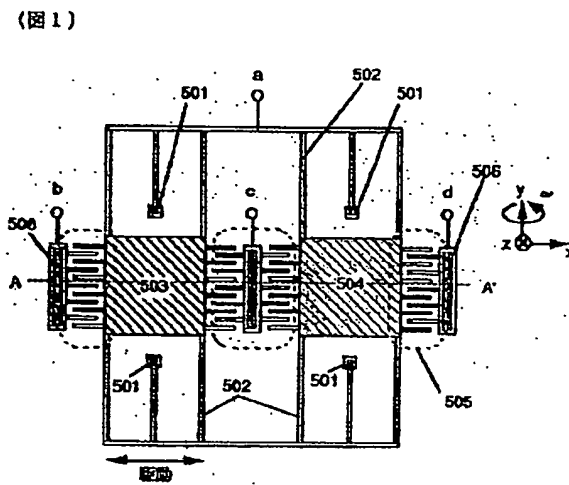
801、1001、1004…駆動回路

802、804、1002、1005…振動子

803、805、1003、1006…検出回路

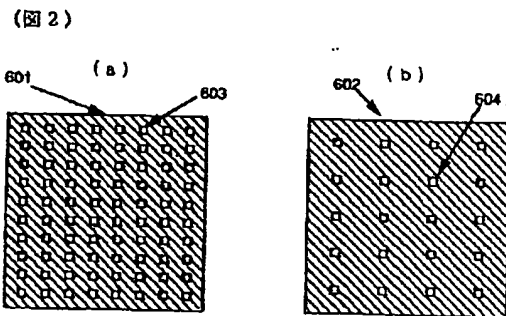
40 806、1007…演算回路

【図 1】

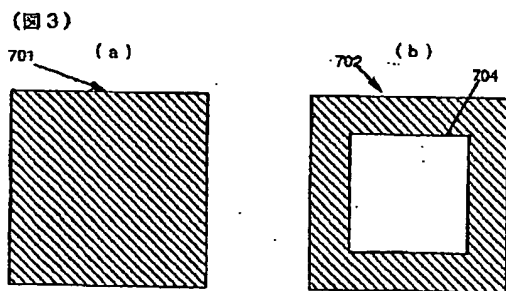


501、506…固定部  
502…梁  
503、504…振動質量部  
505…駆動電極

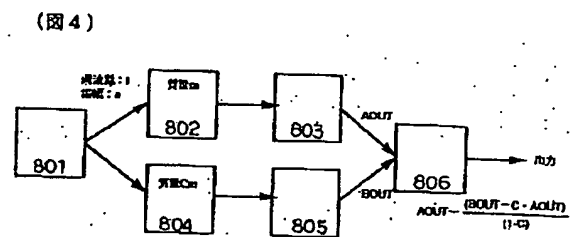
【図 2】



【図 3】



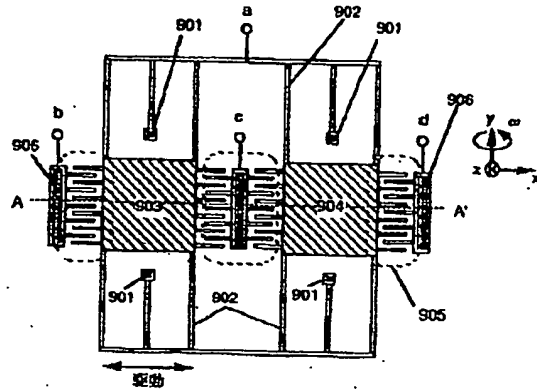
【図 4】



801…駆動回路  
802、804…振動子 A、B  
803、805…検出回路 A、B  
806…演算回路

【図5】

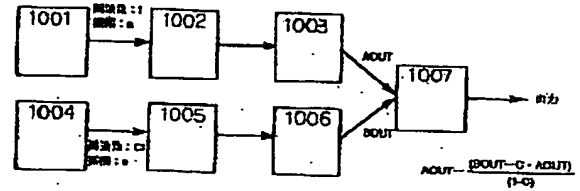
(図5)



901、906…固定部  
902…梁  
903、904…振動質量部  
905…駆動電極

【図6】

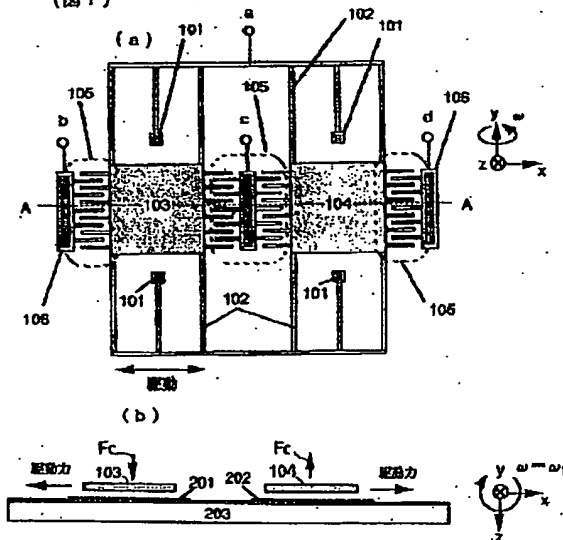
(図6)



1001…駆動回路A  
1002、1005…振動子A、B  
1003、1006…検出回路A、B  
1004…駆動回路B  
1007…演算回路

【図7】

(図7)

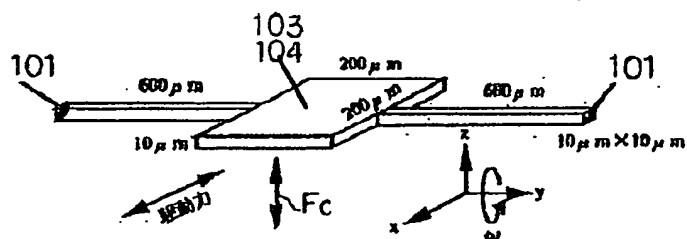


101、106…固定部  
102…梁  
103、104…振動質量部  
105…駆動電極  
201、202…下部電極  
203…基板



【図8】

(図8)



【図9】

(図9)

